5К

УДК 004:62-52:004.033

Н.О. Комлевая, А.С. Пригожев
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина
nokoml@yandex.ru, prigozhev@rambler.ru

Основные этапы диагностирования при участии удаленных консультантов

В статье рассматривается проблема диагностирования двигательного аппарата зрительного анализатора. Предлагается автоматизированный метод, позволяющий расширить число диагностических параметров и получать диагностическое заключение с большей точностью. Участие удаленных консультантов в формировании диагноза значительно повышает объективность результатов.

Введение

Автоматизация процесса диагностики сама по себе является современным прогрессивным подходом. При этом повышается точность результатов диагностики, снижается время ее проведения и появляется возможность автоматической обработки и анализа полученной информации. Особенно важны преимущества автоматизации при диагностике сложных биологических объектов.

Одним из таких объектов, взятым в качестве объекта исследования, является двигательный аппарат зрительного анализатора. Он входит в состав глазодвигательной системы, которая отвечает за поворот глаза для обеспечения заданной области зрительного восприятия. Сложность диагностики двигательного аппарата глаза состоит в многообразии протекающих в нем процессов – механических, оптических, биохимических и т.д., а также в невозможности непосредственного измерения параметров этих процессов [1], [2].

Целью данной работы является разработка метода диагностирования двигательного аппарата зрительного анализатора с использованием модели процесса диагностики. При этом необходимо учесть сложность и зачастую субъективность процесса постановки диагноза. Во избежание неточностей при формировании диагностического заключения предусмотрен протокол обмена информацией между экспертами и удалёнными консультантами.

Исследование характеристик объекта диагностирования

В настоящее время с развитием компьютерной техники все чаще применяют ПК и сопутствующие технические средства для автоматизации диагностики состояния объекта исследования, что ведет к повышению точности, скорости и объективности процесса диагностики, а также позволяет в дальнейшем легко обрабатывать полученную информацию.

С целью автоматизации диагностики состояния двигательного аппарата зрительного анализатора (ДАЗА) на базе Одесского института глазных болезней и тканевой терапии им. акад. В.П. Филатова разрабатывается аппаратно-программный лечебно-диагностический комплекс. В разрабатываемом комплексе для выявления отклоне-

ний в работе двигательного аппарата используется модифицированный метод координметрии. Анализ функционирования ДАЗА позволяет выделить нелинейную и линейную части. В роли его нелинейной части выступает обработка поступающей информации сетчаткой, рецепторы которой имеют параболическую характеристику. В качестве линейной части выступает набор глазодвигательных мышц, обеспечивающих поворот глазного яблока с целью изменения области зрительного восприятия.

Анализ свойств ДАЗА с учетом требований к наблюдаемости переменных системы позволил выделить множество наиболее важных и информативных параметров глазодвигательных мышц, которые в совокупности описывают состояние системы [3]:

$$Q \equiv (\varphi, L, T), \quad (1)$$

где φ – угол отклонения глазного яблока от нормали, первичный статический показатель; L – длина глазодвигательной мышцы, вторичный статический показатель; T – постоянная времени переходного процесса при отработке глазодвигательной мышцей изменения входного воздействия, динамический показатель.

Приведенные параметры комплексно описывают работу ДАЗА как при фиксации им произвольной точки, так и при отработке изменений входной информации. Результатом исследования состояния ДАЗА пациента в рамках данного множества параметров является оценка его физиологического состояния и степени профессиональной пригодности.

Модель процесса диагностики можно представить следующим образом [4]:

$$M \equiv (R, V, P, Q, D, C), \quad (2)$$

где

$$R = F_1(X, Y, u),$$
$$V = F_2\ (R,\ S),$$
$$P_{стат} = F_3\ (X,\ \tilde{V}\ ),$$
$$\tilde{V} = extr(V),$$
$$P_{динам} = F_4\,(X, V),$$
$$Q_{стат} = F_5\,(P_{стат}, G, X),$$
$$Q_{динам} = F_6\,(P_{динам}, X),$$
$$D_{стат} = F_7\,(Q_{стат}, Q_{стат\ норм}),$$
$$D_{динам} = F_8\,(Q_{динам}, Q_{динам\ норм}),$$
$$C = F_9\,(D_{стат}, D_{динам}, Pr).$$

Здесь:

– F_1 – предварительная обработка информации с учетом входной информации X, выходной информации Y и возмущающего воздействия u;

– F_2 – формирование из выходной информации Y элементов Z, которые могут принимать участие в оценке состояния объекта;

– F_3 и F_4 – вычисление статических $P_{стат}$ и динамических $P_{динам}$ информативных признаков с использованием полезной информации R;

– F_5 и F_6 – вычисление статических $Q_{стат}$ и динамических $Q_{динам}$ диагностических показателей с учетом геометрических характеристик объекта диагностики G;

– F_7 и F_8 – вычисление статических $D_{стат}$ и динамических $D_{динам}$ диагностических признаков с использованием нормативных значений диагностических показателей $Q_{норм} = Q_{стат\ норм} \cup Q_{динам}$;

– F_9 – классификация состояния объекта диагностики на базе системы решающих правил Pr.

Диагностирование двигательного аппарата зрительного анализатора

Процесс диагностики ДАЗА включает в себя ряд основных этапов:
– подготовительный;
– проведение эксперимента;
– параметрическая идентификация объекта диагностирования;
– классификация состояния объекта диагностирования;
– анализ результатов диагностирования с участием удаленных консультантов;
– формирование и регистрация диагноза.

Для каждого этапа определен субъект или группа субъектов, обеспечивающих его выполнение: оператор, пациент, эксперт, удаленные консультанты и врач как лицо, принимающее решение (ЛПР). Оператор обеспечивает выполнение технических функций и программную обработку информации, эксперт с привлечением удаленных консультантов отвечает за интеллектуальный анализ результатов автоматизированного диагностирования, а ЛПР формирует окончательный диагноз и выдает дальнейшие рекомендации в терминах предметной области.

Начальным этапом процесса диагностики является подготовка объекта диагностики и технических средств. Это обеспечивает замкнутость системы подачи-обработки-съема информации.

В ходе проведения эксперимента пациенту предлагается фиксировать взглядом различные точки, при этом изображение глаз пациента является исходной информацией для диагностирования. Регистрация положения глаза в зависимости от внешней стимуляции производится специальными техническими офтальмологическими средствами. Далее производится поиск положения похожего на зрачок объекта, определение центра зрачка по методу распознавания образов, вычисление координат центра зрачка в плоскости его изображения и оценка результата на правдоподобность. При этом учитывается возможная неоднородность изображения зрачка, вызванная наличием бликов. Современная версия программного обеспечения лечебно-диагностического комплекса содержит функции анализа качества изображения глаз пациента, получаемого в ходе его обследования.

Основными недостатками изображений в большинстве случаев являются низкая контрастность, искаженные яркостные характеристики, наличие шумовой составляющей. Для оценки качества получаемого изображения в общем виде используется комплексный критерий:

$$P = k * P_1 * P_2 * P_3 * P_4 , \qquad (3)$$

где k – нормирующий коэффициент;
P_1 – параметр, определяющий полноту использования элементами изображения градаций яркости:

$$P_1 = \frac{S}{L_{\max}} , \qquad (4)$$

где S – количество уровней яркости, для каждого из которых на данном изображении присутствует определенное количество элементов с заданной яркостью, $L_{\max}$ – максимальная яркость (обычно именно этот параметр изменяет свое значение от случая к случаю и является существенным);

P_2 – параметр, определяющий резкость изображения:

$$P_2 = \frac{1}{L_{\max}} \frac{\int_a^b \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx}{f(a) - f(b)}, \quad (5)$$

где $f(x)$ – видеосигнал, a и b – точки, которые расположены на противоположных краях перепада (для наших исследований значение параметра P_2 остается практически неизменным, таким образом, для простоты вычислений можно им пренебречь);
P_3 – контрастность изображения:

$$P_3 = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{\infty} \left[2(L-\overline{L}) + L_{\max} - \left|2(L-\overline{L}) - L_{\max}\right|\right] * H(L)dl, \quad (6)$$

где $\overline{L}$ – среднеарифметическое значение уровней яркостей элементов изображения, $H(L)$ – гистограмма распределения яркостей элементов изображения (для наших исследований данный параметр является существенным и должен быть учтен);
P_4 – отношение сигнал-шум:

$$P_4 = 10\log_{10}\left(\frac{\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}[f(x,y)]^2}{\sum_{x=1}^{M}\sum_{y=1}^{N}\left[f(x,y) - \overline{f}(x,y)\right]^2}\right). \quad (7)$$

Последний из перечисленных параметров является переменной величиной, однако, многочисленные опыты показали, что вклад его в общую картину является несущественным и для наших исследований им можно пренебречь.

С учетом анализа значимости параметров комплексный критерий принимает вид:

$$P = k * P_1 * P_3. \quad (8)$$

Повышение качества изображения производилось посредством осуществления следующих операций: 1) фильтрация (использовались функции обобщенной линейной фильтрации); 2) улучшение яркостных характеристик (использовался линейный метод – гамма-коррекция). Оптимальный уровень обработки изображения определялся по максимуму комплексного критерия (8).

Проведение эксперимента, параметрическая идентификация объекта диагностирования и классификация его состояния проводятся оператором по разработанным методикам и алгоритмам [5]. Функциональная схема диагностики и лечения ДАЗА представлена на рис. 1.

Для классификации состояния ДАЗА используется экспертная система. Ядро экспертной системы составляет база знаний. При заполнении базы знаний инженер по знаниям подает свои знания в виде правил «ЕСЛИ..., ТО...» с весовыми коэффициентами, которые отражают степень уверенности, а также вид функций принадлежности для входных и выходных переменных. Машина логического вывода используется для экспертной оценки эффективности принимаемых решений по правилам логического вывода, аналитического расчета, затем представляет результаты согласно цели, задаваемой при помощи пользовательского интерфейса.

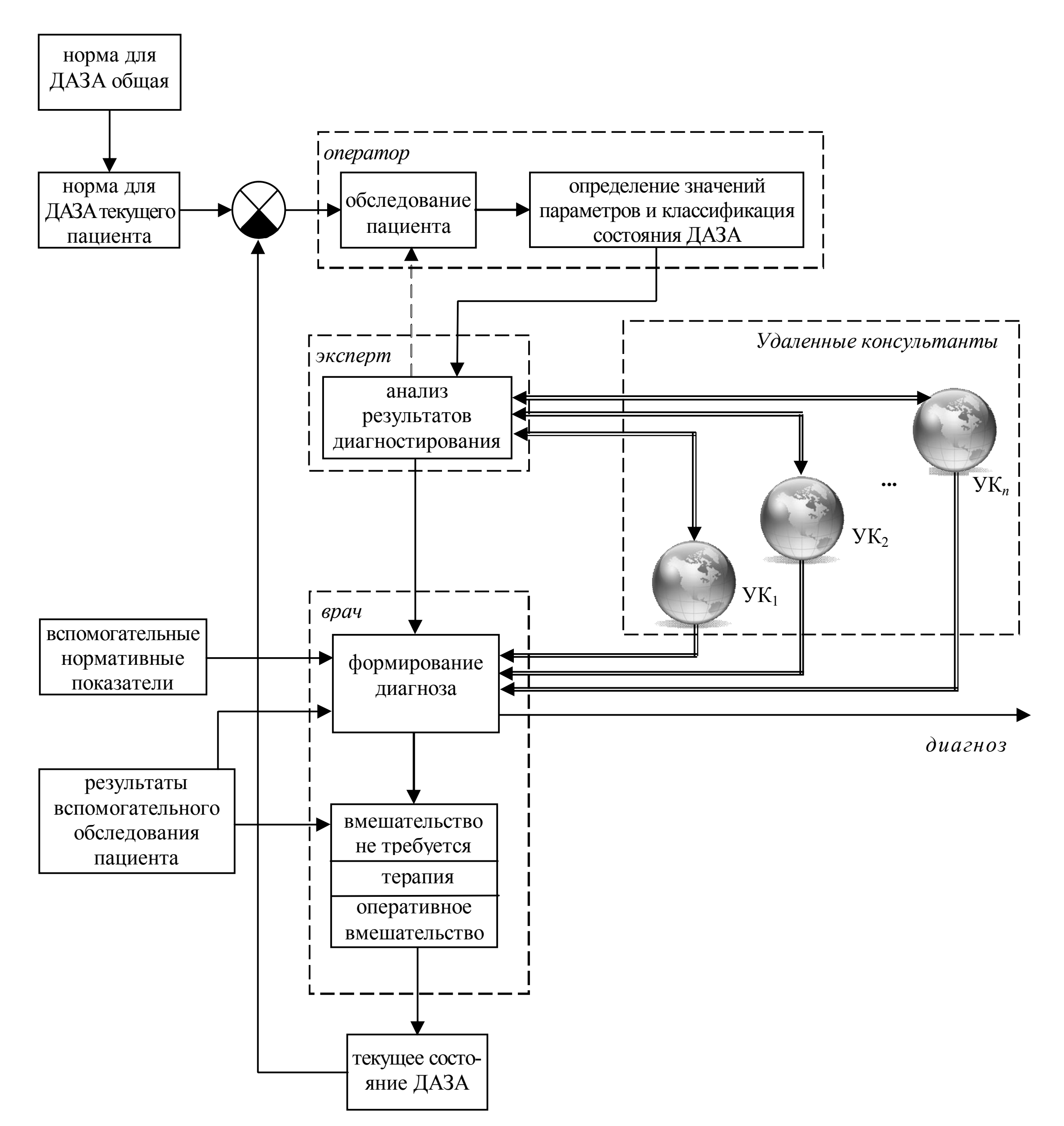


Рисунок 1 – Функциональная схема диагностики и лечения ДАЗА

Далее результаты диагностирования анализируются экспертом, который для уточнения понимания степени работоспособности объекта может использовать промежуточную информацию об элементах, сохраненную в текущей записи базы данных (БД). Основными функциями эксперта и удаленных консультантов является контроль правильности определения диагностических классов и проверка данных на достоверность и непротиворечивость. В случае недостоверности или противоречивости данных эксперт требует проведения повторного обследования.

На основании проверенных данных врач-офтальмолог как ЛПР формирует диагноз в терминах предметной области. Диагностическое заключение должно удовлетворять следующим основным критериям:

– полнота – диагноз должен быть всесторонне полным, прозрачным, не допускающим неверное толкование; на основании поставленного в медицинских терминах диагноза должно быть ясно, какое лечение предлагать пациенту;

– интегрированность – диагноз должен вписаться в общую картину состояния здоровья пациента, не противоречить другим значениям его медицинских и физиологических показателей;
– гарантированность – решение должно быть тщательно проверенным, с наличием хорошей обосновательной базы.

При формировании диагноза врачом используются результаты вспомогательных обследований пациента и знания о типовой норме и возможных отклонениях от нее. Диагноз и рекомендации заносятся в текущую запись БД. По результатам диагностики может быть назначено проведение терапевтического или оперативного вмешательства. Это ведет к изменению текущего состояния ДАЗА, блок которого находится в цепи отрицательной обратной связи лечебно-диагностического комплекса. Процесс коррекции состояния ДАЗА должен проводиться до тех пор, пока его текущее состояние не станет совпадать с нормативным.

Хранение данных и протокол обмена информацией между экспертом, ЛПР и удалёнными консультантами

В результате анализа предметной области и нормализации получены следующие сущности: «Сеанс», «Пациент», «Категория», «Диагноз», «Операция», «Управляющие точки», «Входная последовательность», «Статистика», «Глазодвигательные мышцы», «История болезни», «Врач».

Между сущностями существуют следующие виды взаимосвязей:
– каждому пациенту может быть сделано несколько операций, следовательно, между сущностями «Пациент» и «Операция» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– каждый пациент может быть отнесен только к одной категории, но к каждой категории относится множество пациентов, следовательно, между сущностями «Пациент» и «Категория» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– каждому пациенту может быть поставлено несколько диагнозов, следовательно, между сущностями «Пациент» и «Диагноз» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– каждому пациенту может быть назначено несколько сеансов обследования, следовательно, между сущностями «Пациент» и «Сеанс» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– для каждого пациента может быть внесено несколько записей в историю болезни, следовательно, между сущностями «Пациент» и «История болезни» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– каждую запись в историю болезни может вносить только один врач, следовательно, между сущностями «История болезни» и «Врач» существует взаимосвязь многие-к-одному;
– каждому сеансу может принадлежать одна последовательность точек фиксации, следовательно, между сущностями «Сеанс» и «Входная последовательность» существует взаимосвязь один-к-одному;
– каждой последовательности точек могут принадлежать различные, в том числе повторяющиеся точки, следовательно, между сущностями «Входная последовательность» и «Управляющие точки» существует взаимосвязь один-ко-многим;
– для каждого сеанса формируется один набор данных на основе измерений, формирующих статистику, следовательно, между сущностями «Входной сеанс» и «Статистика» существует взаимосвязь один-к-одному;

– каждой глазодвигательной мышце соответствует один набор данных, но в одном наборе описано много мышц, следовательно, между сущностями «Глазодвигательные мышцы» и «Статистика» существует взаимосвязь один-ко-многим.

В результате получена следующая структура таблиц реляционной базы данных, представленная в виде *Название_таблицы*: *атрибуты* (*типы_атрибутов* [*– ключевое поле*]):

– таблица «**Пациент**»: Код (Счетчик Int – ключевое поле), Фамилия (String), Имя (String), Отчество (String), Дата рождения (Date), Пол (Char), Код категории (число Int);
– таблица «**Диагноз**»: Код пациента (Счетчик Int – ключевое поле), Описание (String), Дата постановки диагноза (Date – ключевое поле), Дата снятия диагноза (Date);
– таблица «**Категория**»: Код (Счетчик Int – ключевое поле), Описание (String);
– таблица «**Сеанс**»: Номер (Счетчик Int – ключевое поле), Код пациента (Счетчик Int), Дата (Date), Количество точек (число Int), Период (число Int);
– таблица «**История болезни**»: Код пациента (Счетчик Int – ключевое поле), Дата посещения (Date – ключевое поле), Описание (String), Врач (String);
– таблица «**Врач**»: Код (Счетчик Int – ключевое поле), Фамилия и инициалы (String);
– таблица «**Операция**»: Код пациента (Счетчик Int – ключевое поле), Дата (Date – ключевое поле), Врач (String), Описание (String), Результат (String);
– таблица «**Глазодвигательные мышцы**»: Номер (Счетчик Int – ключевое поле), Описание (String);
– таблица «**Статистика**»: Номер последовательности (Счетчик Int – ключевое поле), Номер ГДМ (число Int – ключевое поле), X (число Int), Y (число Int), Среднеквадратическое отклонение (число Float), L (число Float);
– таблица «**Входная последовательность**»: Номер последовательности (Счетчик Int – ключевое поле), Номер сеанса (число Int), Номер точки (число Int), Порядок (число Int);
– таблица «**Управляющие точки**»: Номер (Счетчик Int – ключевое поле), X (число Int), Y (число Int).

В таблице «Входной сеанс» используется ключевое поле «№ сеанса», которое содержит сквозную нумерацию сеансов диагностического обследования пациента. Это поле служит для связи с таблицей «Управляющие точки» и через нее – с таблицами «Статистика» и «Глазодвигательные мышцы».

Для каждой управляющей точки выделяются атрибуты (номер точки и ее координаты) и заносятся в отдельную таблицу «Управляющие точки», а порядок задания этих точек определяется в таблице «Входная последовательность». Связь с таблицей «Управляющие точки» осуществляется по полю «Номер точки».

Для связи таблиц «Пациент», «Диагноз» и «Операция» используется ключевое поле «Код пациента», так как не рекомендуется задавать в качестве ключей текстовые поля (например, ФИО).

При анализе атрибутов сущности «Глазодвигательные мышцы» видно, что часть параметров относятся к постоянным, присущим конкретной мышце, а другая часть получается из измерений, т.е. зависит от текущего сеанса. Поэтому логично разделить атрибуты на две таблицы: «Глазодвигательные мышцы» и «Статистика». Таблица «Глазодвигательные мышцы» связана по ключевому полю «Номер» с таблицей «Статистика».

Таким образом, анализ атрибутов выделенных сущностей и реструктуризация соответствующих таблиц дали возможность получить нормализованные таблицы, составляющие основу разрабатываемой БД, схема данных которой приведена на рис. 2.

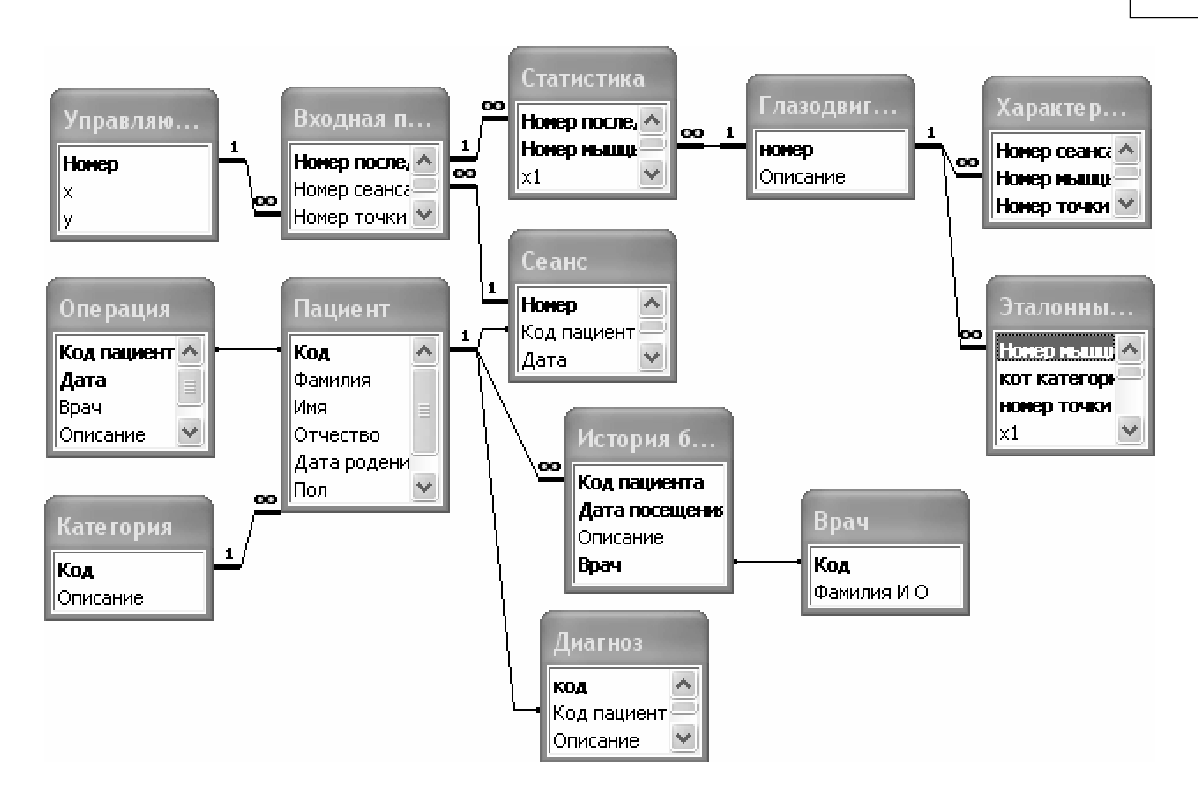


Рисунок 2 – Схема БД

Из перечисленных выше данных удаленным консультантам в обязательном виде передаются следующие:
- код пациента;
- диагноз (описание);
- дата постановки диагноза;
- история болезни (дата посещения/описание);
- операции (дата проведения/описание).

По требованию консультанта ему может быть передана и другая информация из базы данных.

В ходе диагностирования определяются также следующие данные, значения которых передаются удаленным консультантам:
- l – число элементов диагностирования, $l = 1..6$;
- k – критерии диагностирования, $k = 1..3$;
- s – состояния элементов диагностирования, $s = 0..8$;
- $Q[l][k][s]$ – массив значений диагностических показателей (числа Double);
- $Q_{norm}[l][k][s]$ – массив нормативных значений диагностических показателей (числа Double);
- $D[l][k][s]$ – массив значений диагностических признаков (числа Double).
- $Diap[l][k][6]$ – массив граничных значений диагностических признаков (числа Double);
- $Cl[k]$ – классификационный вектор.

В результате своей работы удаленный консультант соглашается с предложенным диагнозом или опровергает его, предлагая новый.

Диагностические данные из базы данных отсылаются удалённым консультантам с использованием XML [6]. Выбор данного формата связан с тем, что импорт и экспорт в него поддерживают большинство из существующих СУБД.

Основными элементами XML-описания, передаваемого эксперту удаленными консультантами, являются поля таблиц, которые описаны в информационной структуре БД (рис. 2). Сущностями в описании XML являются таблицы БД.

Пример описания таблиц БД в формате XML представлен на рис. 3.

```
<!ENTITY seans “сеанс”>
<!ENTITY patient “пациент”>
<!ENTITY category “категория”>
<!ENTITY diagnoze “диагноз”>
```

Рисунок 3 – Фрагмент описания таблиц в нотации XML

Определим далее элементы, которые будут присутствовать в описании таблиц XML. В нашем случае элементами будут являться поля соответствующих таблиц. Для каждого элемента вводятся атрибуты, которые определяют правила интерпретации данных в БД. На рис. 4 показан пример описания элементов и соответствующих атрибутов для описания информации о пациентах.

```
<!ELEMENT type>
<!ELEMENT patient_name (#PCDATA)>
<!ELEMENT patient_fam (#PCDATA)>
<!ELEMENT patient_ otch(#PCDATA)>
<!ELEMENT date_born (type?)>
….
<!ELEMENT patient_info (patient_fam?, patient_name?, patient_otch?...)>
<!ATTLIST type type_data (date|int|double)>
```

Рисунок 4 – Описание элементов и атрибутов

На рис. 4 описаны некоторые поля, связанные с описанием информации о пациенте. Каждая запись о пациенте начинается с тега <patient_info>, внутри которого находятся теги, описывающие поля записи БД. Если в теге не указан тип данных с использованием тега type, то подразумевается символьный тип, в противном случае указывается тип, который указан в параметре type. Фрагмент описания информации о пациенте приведен на рис. 5.

```
<patient_info>
<patient_fam>Иванов</patient_fam>
<patient_name>Пётр</patient_name>
<patient_otch>Юрьевич</patient_otch>
<date_born>01.11.1979</date_born>
…
</patient_info>
…
```

Рисунок 5 – Пример описания информации для таблицы «Пациенты»

Использование XML как средства передачи данных удалённым консультантам позволяет сделать набор программ для их работы более универсальным и позволяет передавать эксперту набор данных различных типов.

Выводы

Предложенный метод диагностирования дает возможность исследовать состояние двигательного аппарата зрительного анализатора человека и получить заключение по поводу его состояния в виде диагностических классов и в терминах предметной области. Данный метод выгодно отличается от предшествующих расширенным набором диагностических параметров, высокой скоростью и точностью проведения диагностики, а также возможностью автоматизации процесса. Подключение удаленных консультантов на этапах анализа результатов диагностирования и формирования диагноза повышает степень объективности результатов.

Литература

1. Старкова Н.О. Систематизация параметров двигательного аппарата глаза с целью его идентификации и диагностики / Н.О. Старкова // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999. – Вып. 3(9). – С. 133-135.
2. Компьютерная диагностика функциональных нарушений глазодвигательного аппарата / [Старкова Н.О., Паулин О.Н., Бушуева Н.Н., Македон С.В.] // Труды Укр. академии эконом. кибернетики (Южный научный центр) «Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии». – Киев ; Одесса : ИСЦ, 1999. – Вып. 1. – Ч. 2. – С. 119-123.
3. Паулин О.Н. Программный инструментарий для моделирования двигательного аппарата зрительного анализатора / О.Н. Паулин, Н.О. Комлевая, Я.Ю. Журавская // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2002. – Вып. 2(18). – С. 97-102.
4. Комлевая Н.О. Способы анализа сложной системы на примере двигательного аппарата глаза / Н.О. Комлевая, Е.Г. Фадеев // Холодильна техніка і технологія. – Одесса, 2007. – Вып. 3(107). – С. 79-81.
5. Комлевая Н.О. Разработка информационной технологии диагностирования нелинейных систем / Н.О. Комлевая, О.Н. Паулин // Холодильна техніка і технологія. – Одесса, 2005. – Вып. 4(96). – С. 110-117.
6. Питц-Моутлис Н. XML : наиболее полное руководство / Н. Питц-Моутлис, Ч. Кирк. – М. : BHV, 2000. – 716 с.

Н.О. Комлева, О.С. Пригожев

Основні етапи діагностування за участю віддалених консультантів

У статті розглядається проблема діагностування рухового апарату зорового аналізатора. Пропонується автоматизований метод, що дозволяє розширити число діагностичних параметрів і отримувати діагностичний висновок з більшою точністю. Участь віддалених консультантів у формуванні діагнозу значно підвищує об'єктивність результатів.

N.O. Komlevaya, A.S. Prigozhev

Basic Stages of Diagnosing with Participation of Far Consultants

The problem of extraocular apparatus diagnosing is examined in the article. The automated method, allowing to extend the number of diagnostic parameters and get a diagnostic conclusion with greater exactness, is offered. Far consultants participating in forming of diagnosis considerably promotes objectivity of results.

Статья поступила в редакцию 26.06.2009.